

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of : THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED  
Tomohiro OKUMURA et al. : TO CHARGE ANY DEFICIENCY IN THE  
Serial No. NEW : FEES FOR THIS PAPER TO DEPOSIT  
Filed July 10, 2003 : ACCOUNT NO. 23-0975  
: Attn: APPLICATION BRANCH  
: Attorney Docket No. 2003\_0932A

APPARATUS FOR PLASMA DOPING

CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Applicants in the above-entitled application hereby claim the date of priority under the International Convention of Japanese Patent Application No. 2002-202483, filed July 11, 2002, as acknowledged in the Declaration of this application.

A certified copy of said Japanese Patent Application is submitted herewith.

Respectfully submitted,

Tomohiro OKUMURA et al.

By Michael S. Huppert  
Michael S. Huppert  
Registration No. 40,268  
Attorney for Applicants

MSH/kjf  
Washington, D.C. 20006-1021  
Telephone (202) 721-8200  
Facsimile (202) 721-8250  
July 10, 2003

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application: 2002年 7月11日

出 願 番 号

Application Number: 特願2002-202483

[ST.10/C]:

[JP2002-202483]

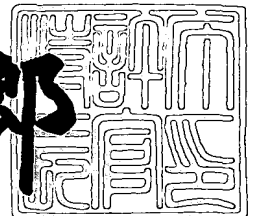
出 願 人

Applicant(s): 松下電器産業株式会社

2003年 5月20日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3037463

【書類名】 特許願

【整理番号】 2015340019

【提出日】 平成14年 7月11日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/22

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 奥村 智洋

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 中山 一郎

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 水野 文二

【特許出願人】

    【識別番号】 000005821

    【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100097445

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

    【識別番号】 100103355

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 プラズマドーピング方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させ、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入することを特徴とするプラズマドーピング方法。

【請求項 2】 真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させ、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入することを特徴とするプラズマドーピング方法。

【請求項 3】 試料がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極の電位を制御することを特徴とする請求項 1 または 2 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 4】 真空容器内に直流磁場または周波数  $1\text{ kHz}$  以下の低周波磁場を印加し、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することを特徴とする請求項 1 または 2 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 5】 真空容器内に直流磁場または周波数  $1\text{ kHz}$  以下の低周波磁場を印加し、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することを特徴とする請求項 1 または 2 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 6】 アンテナまたはコイルに、 $f_1$  とは異なる周波数  $f_2$  の高周波電力を供給することを特徴とする請求項 1 または 2 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 7】 コンデンサを介してアンテナまたはコイルの一端を接地することを特徴とする請求項 6 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 8】  $f_2$  が、 $f_1$  の  $10$  分の  $1$  以下であることを特徴とする請求項

6 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 9】  $f_1$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの 2 倍以上、 $f_2$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの 5 分の 1 以下であることを特徴とする請求項 7 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 10】  $f_1$  に対するコンデンサのインピーダンスが  $25\ \Omega$  以下、 $f_2$  に対するコンデンサのインピーダンスが  $250\ \Omega$  以上であることを特徴とする請求項 7 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 11】  $f_1$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスが  $50\ \Omega$  以上、 $f_2$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスが  $5\ \Omega$  以下であることを特徴とする請求項 7 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 12】 試料がシリコンよりなる半導体基板であり、不純物が砒素、磷、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであり、ガスが窒素、ヘリウムまたはアルゴンを含むガスであることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 13】 誘電体窓の主成分がシリコン、石英ガラスまたは窒化シリコンであることを特徴とする請求項 1 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 14】 真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させるとともに、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入することを特徴とするプラズマドーピング方法。

【請求項 15】 真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させるとともに、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給す

ることにより、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入することを特徴とするプラズマドーピング方法。

【請求項 1 6】 試料がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極の電位を制御することを特徴とする請求項 1 4 または 1 5 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 1 7】 真空容器内に直流磁場または周波数 1 k H z 以下の低周波磁場を印加し、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することを特徴とする請求項 1 4 または 1 5 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 1 8】 真空容器内に直流磁場または周波数 1 k H z 以下の低周波磁場を印加し、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することを特徴とする請求項 1 4 または 1 5 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 1 9】 真空容器内に直流磁場を印加し、真空容器内に電子サイクロトロン共鳴プラズマを形成することを特徴とする請求項 1 4 または 1 5 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 2 0】 試料がシリコンよりなる半導体基板であり、不純物が砒素、燐、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであり、ガスが窒素、ヘリウムまたはアルゴンを含むガスであることを特徴とする請求項 1 4 または 1 5 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 2 1】 誘電体窓の主成分がシリコン、石英ガラスまたは窒化シリコンであることを特徴とする請求項 1 4 記載のプラズマドーピング方法。

【請求項 2 2】 真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を含む誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することができる高周波電源とを備えたことを特徴とするプラズマドーピング装置。

【請求項 2 3】 真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を

含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することができる高周波電源とを備えたことを特徴とするプラズマドーピング装置。

【請求項 2 4】 試料電極の電位を制御するための電源を備えたことを特徴とする請求項 2 2 または 2 3 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 2 5】 真空容器内に直流磁場または周波数 1 k H z 以下の低周波磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することができることを特徴とする請求項 2 2 または 2 3 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 2 6】 真空容器内に直流磁場または周波数 1 k H z 以下の低周波磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することができることを特徴とする請求項 2 2 または 2 3 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 2 7】 アンテナまたはコイルに、 $f_1$  とは異なる周波数  $f_2$  の高周波電力を供給することができる高周波電源を備えたことを特徴とする請求項 2 2 または 2 3 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 2 8】 コンデンサを介してアンテナまたはコイルの一端を接地したことを特徴とする請求項 2 7 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 2 9】  $f_2$  が、 $f_1$  の 1 0 分の 1 以下であることを特徴とする請求項 2 7 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 3 0】  $f_1$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの 2 倍以上、 $f_2$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの 5 分の 1 以下であることを特徴とする請求項 2 8 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 3 1】  $f_1$  に対するコンデンサのインピーダンスが  $25 \Omega$  以下、 $f_2$  に対するコンデンサのインピーダンスが  $250 \Omega$  以上であることを特徴とする請求項 2 8 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 3 2】  $f_1$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスが  $50 \Omega$  以上、 $f_2$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスが  $5 \Omega$  以下である



ことを特徴とする請求項 28 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 33】 不純物が砒素、磷、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであることを特徴とする請求項 22 または 23 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 34】 誘電体窓の主成分がシリコン、石英ガラスまたは窒化シリコンであることを特徴とする請求項 22 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 35】 真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を含む誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することができる高周波電源と、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極と、バイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給することができる高周波電源を備えたことを特徴とするプラズマドーピング装置。

【請求項 36】 真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することができる高周波電源と、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極と、バイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給することができる高周波電源を備えたことを特徴とするプラズマドーピング装置。

【請求項 37】 試料電極の電位を制御するための電源を備えたことを特徴とする請求項 35 または 36 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 38】 真空容器内に直流磁場または周波数 1 kHz 以下の低周波磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することができることを特徴とする請求項 35 または 36 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 39】 真空容器内に直流磁場または周波数 1 kHz 以下の低周波磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内に磁気中性ループ

ラズマを形成することができることを特徴とする請求項 3 5 または 3 6 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 4 0】 真空容器内に直流磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内に電子サイクロトロン共鳴プラズマを形成することができることを特徴とする請求項 3 5 または 3 6 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 4 1】 不純物が砒素、燐、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであることを特徴とする請求項 3 5 または 3 6 記載のプラズマドーピング装置。

【請求項 4 2】 誘電体窓の主成分がシリコン、石英ガラスまたは窒化シリコンであることを特徴とする請求項 3 5 記載のプラズマドーピング装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、不純物を半導体基板などの固体試料の表面に導入するプラズマドーピング方法及び装置に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

不純物を固体試料の表面に導入する技術としては、例えば、米国特許 4, 9 1 2, 0 6 5 号明細書に示されているように、不純物をイオン化して低エネルギーで固体中に導入するプラズマドーピング法が知られている。

【0 0 0 3】

以下、図 1 4 を参照しながら、従来の不純物導入方法としてのプラズマドーピング法について説明する。

【0 0 0 4】

同図は、従来技術のプラズマドーピング法に用いられるプラズマドーピング装置の概略構成を示している。同図において、真空容器 1 内に、シリコン基板よりなる試料 9 を載置するための試料電極 6 が設けられている。真空容器 1 内に所望の元素を含むドーピングガス例えば  $B_2H_6$  を供給するためのガス供給装置 2、真空容器 1 内の内部を減圧するポンプ 3 が設けられ、真空容器 1 内を所定の圧力に保つことができる。マイクロ波導波管 2 6 より、誘電体窓としての石英板 7 を介

して、真空容器 1 内にマイクロ波が放射される。このマイクロ波と、電磁石 14 から形成される直流磁場の相互作用により、真空容器 1 内に有磁場マイクロ波プラズマ（これを「電子サイクロトロン共鳴プラズマ」という）27 が形成される。試料電極 6 には、コンデンサ 28 を介して高周波電源 10 が接続され、試料電極 6 の電位が制御できるようになっている。

## 【0005】

このような構成のプラズマドーピング装置において、ガス供給装置 2 から導入されたドーピングガス例えば  $B_2H_6$  は、マイクロ波導波管 26 及び電磁石 14 から成るプラズマ発生手段によってプラズマ化され、プラズマ 27 中のボロンイオンが高周波電源 10 によって試料 9 の表面に導入される。

## 【0006】

このようにして不純物が導入された試料 9 の上に金属配線層を形成した後、所定の酸化雰囲気の中において金属配線層の上に薄い酸化膜を形成し、その後、CVD 装置などにより試料 9 上にゲート電極を形成すると、例えば MOS トランジスタが得られる。

## 【0007】

ところで、 $B_2H_6$  よりなるドーピングガスのように、シリコン基板等の試料に導入されると電氣的に活性となる不純物を含むガスは、一般に危険性が高いという問題がある。

## 【0008】

また、プラズマドーピング法は、ドーピングガスに含まれている物質の全てが試料に導入される。 $B_2H_6$  よりなるドーピングガスを例にとって説明すると、試料に導入されたときに有効な不純物はボロンのみであるが、水素も同時に試料中に導入される。水素が試料中に導入されると、エピタキシャル成長等、引き続き行なわれる熱処理時に試料において格子欠陥が生じるという問題がある。

## 【0009】

そこで、試料に導入されると電氣的に活性となる不純物を含む不純物固体を真空容器内に配置すると共に、真空容器内において希ガスのプラズマを発生させ、希ガスのイオンにより不純物固体をスパッタリングすることにより、不純物固体

から不純物を分離させる方法が考えられた。こうした方法でドーピングを行うためのプラズマドーピング装置の構成を図15に示す。

#### 【0010】

図15において、真空容器1内に、シリコン基板よりなる試料9を載置するための試料電極6が設けられている。真空容器1内に希ガスを供給するためのガス供給装置2、真空容器1内の内部を減圧するポンプ3が設けられ、真空容器1内を所定の圧力に保つことができる。マイクロ波導波管26より、誘電体窓としての石英板7を介して、真空容器1内にマイクロ波が放射される。このマイクロ波と、電磁石14から形成される直流磁場の相互作用により、真空容器1内に有磁場マイクロ波プラズマ（電子サイクロトロン共鳴プラズマ）27が形成される。試料電極6には、コンデンサ28を介して高周波電源10が接続され、試料電極6の電位が制御できるようになっている。また、不純物元素例えばボロンを含む不純物固体29が、固体保持台30上に設けられ、固体保持台30の電位が、コンデンサ31を介して接続された高周波電源32によって制御される。

#### 【0011】

このような構成のプラズマドーピング装置において、ガス供給装置2から導入された希ガス、例えばアルゴン（Ar）は、マイクロ波導波管26及び電磁石14から成るプラズマ発生手段によってプラズマ化され、不純物固体29からスパッタリングによりプラズマ中に飛び出した不純物元素の一部がイオン化され、試料9の表面に導入される。このような構成については、特開平9-115851号公報に詳しく述べられている。

#### 【0012】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来の方式では、装置がおおがかりになるという問題点があった。高周波電源は、マイクロ波電源を含めて最低3台が必要となり、設計上の工夫を要することになる。また、プラズマ中に暴露される高周波電極としては、試料台の他に固体保持台が必要となる。

#### 【0013】

更に、従来の方式では、導入された不純物密度が試料表面の位置によって不均

一になるという問題があった。

【0014】

本発明は、上記従来の問題点に鑑み、構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング方法及び装置を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本願の第1発明のプラズマドーピング方法は、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させ、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入することを特徴とする。

【0016】

本願の第2発明のプラズマドーピング方法は、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させ、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入することを特徴とする。

【0017】

本願の第1または第2発明のプラズマドーピング方法において、好適には、試料がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極の電位を制御することが望ましい。

【0018】

本願の第1または第2発明のプラズマドーピング方法において、真空容器内に直流磁場または周波数  $1\text{ kHz}$  以下の低周波磁場を印加し、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することも可能である。また、真空容器内に直流磁場または周波数  $1\text{ kHz}$  以下の低周波磁場を印加し、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することも可能である。

## 【 0 0 1 9 】

本願の第 1 または第 2 発明のプラズマドーピング方法において、好適には、アンテナまたはコイルに、 $f_1$  とは異なる周波数  $f_2$  の高周波電力を供給することが望ましい。この場合、コンデンサを介してアンテナまたはコイルの一端を接地することが好ましい。さらに、 $f_2$  が、 $f_1$  の 10 分の 1 以下であることが好ましい。また、 $f_1$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの 2 倍以上、 $f_2$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの 5 分の 1 以下であることが好ましく、 $f_1$  に対するコンデンサのインピーダンスが  $25\ \Omega$  以下、 $f_2$  に対するコンデンサのインピーダンスが  $250\ \Omega$  以上であることが好ましく、 $f_1$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスが  $50\ \Omega$  以上、 $f_2$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスが  $5\ \Omega$  以下であることが好ましい。

## 【 0 0 2 0 】

本願の第 1 または第 2 発明のプラズマドーピング方法は、試料がシリコンよりなる半導体基板であり、不純物が砒素、燐、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであり、ガスが窒素、ヘリウムまたはアルゴンを含むガスである場合にとくに有効な方法である。

## 【 0 0 2 1 】

本願の第 1 発明のプラズマドーピング方法において、好適には、誘電体窓の主成分がシリコン、石英ガラスまたは窒化シリコンであることが望ましい。

## 【 0 0 2 2 】

本願の第 3 発明のプラズマドーピング方法は、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させるとともに、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入することを特徴とする。

## 【 0 0 2 3 】

本願の第4発明のプラズマドーピング方法は、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させるとともに、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入することを特徴とする。

## 【0024】

本願の第3または第4発明のプラズマドーピング方法において、好適には、試料がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極の電位を制御することが望ましい。

## 【0025】

本願の第3または第4発明のプラズマドーピング方法において、真空容器内に直流磁場または周波数  $1\text{ kHz}$  以下の低周波磁場を印加し、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することも可能である。また、真空容器内に直流磁場または周波数  $1\text{ kHz}$  以下の低周波磁場を印加し、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することも可能である。また、真空容器内に直流磁場を印加し、真空容器内に電子サイクロトロン共鳴プラズマを形成することも可能である。

## 【0026】

本願の第3または第4発明のプラズマドーピング方法は、試料がシリコンよりなる半導体基板であり、不純物が砒素、燐、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであり、ガスが窒素、ヘリウムまたはアルゴンを含むガスである場合にとくに有効な方法である。

## 【0027】

本願の第3発明のプラズマドーピング方法において、好適には、誘電体窓の主成分がシリコン、石英ガラスまたは窒化シリコンであることが望ましい。

## 【0028】

本願の第5発明のプラズマドーピング装置は、真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真

空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を含む誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することができる高周波電源とを備えたことを特徴とする。

## 【 0 0 2 9 】

本願の第 6 発明のプラズマドーピング装置は、真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することができる高周波電源とを備えたことを特徴とする。

## 【 0 0 3 0 】

本願の第 5 または第 6 発明のプラズマドーピング装置において、好適には、試料電極の電位を制御するための電源を備えることが望ましい。

## 【 0 0 3 1 】

本願の第 5 または第 6 発明のプラズマドーピング装置において、真空容器内に直流磁場または周波数 1 k H z 以下の低周波磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することができる構成としてもよい。また、真空容器内に直流磁場または周波数 1 k H z 以下の低周波磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することができる構成としてもよい。

## 【 0 0 3 2 】

本願の第 5 または第 6 発明のプラズマドーピング装置において、好適には、アンテナまたはコイルに、 $f_1$  とは異なる周波数  $f_2$  の高周波電力を供給することができる高周波電源を備えることが望ましい。この場合、コンデンサを介してアンテナまたはコイルの一端を接地することが好ましい。さらに、 $f_2$  が、 $f_1$  の 10 分の 1 以下であることが好ましい。また、 $f_1$  に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの 2 倍以上、 $f_2$  に対するア



ンテナまたはコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの5分の1以下であることが好ましい。また、 $f_1$ に対するコンデンサのインピーダンスが $25\Omega$ 以下、 $f_2$ に対するコンデンサのインピーダンスが $250\Omega$ 以上であることが好ましい。また、 $f_1$ に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスが $50\Omega$ 以上、 $f_2$ に対するアンテナまたはコイルのインピーダンスが $5\Omega$ 以下であることが好ましい。

【0033】

本願の第5または第6発明のプラズマドーピング装置において、好適には、不純物が砒素、燐、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであることが望ましい。

【0034】

本願の第5発明のプラズマドーピング装置において、好適には、誘電体窓の主成分がシリコン、石英ガラスまたは窒化シリコンであることが望ましい。

【0035】

本願の第7発明のプラズマドーピング装置は、真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を含む誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数 $f_3$ の高周波電力を供給することができる高周波電源と、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極と、バイアス電極に周波数 $f_4$ の高周波電力を供給することができる高周波電源を備えたことを特徴とする。

【0036】

本願の第8発明のプラズマドーピング装置は、真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数 $f_3$ の高周波電力を供給することができる高周波電源と、コイルまたはアンテナと

誘電体窓の間に配置したバイアス電極と、バイアス電極に周波数  $f$  の高周波電力を供給することができる高周波電源を備えたことを特徴とする。

【0037】

本願の第7または第8発明のプラズマドーピング装置において、好適には、試料電極の電位を制御するための電源を備えることが望ましい。

【0038】

本願の第7または第8発明のプラズマドーピング装置において、真空容器内に直流磁場または周波数  $1\text{ kHz}$  以下の低周波磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することができる構成としてもよい。また、真空容器内に直流磁場または周波数  $1\text{ kHz}$  以下の低周波磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することができる構成としてもよい。また、真空容器内に直流磁場を印加することができる磁場形成装置を備え、真空容器内に電子サイクロトロン共鳴プラズマを形成することができる構成としてもよい。

【0039】

本願の第7または第8発明のプラズマドーピング装置において、好適には、不純物が砒素、磷、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンであることが望ましい。

【0040】

本願の第7発明のプラズマドーピング装置において、好適には、誘電体窓の主成分がシリコン、石英ガラスまたは窒化シリコンであることが望ましい。

【0041】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の第1実施形態について、図1を参照して説明する。

【0042】

図1に、本発明の第1実施形態において用いたプラズマドーピング装置の断面図を示す。図1において、真空容器1内に、ガス供給装置2から所定のガスを導入しつつ、排気装置としてのターボ分子ポンプ3により排気を行い、調圧弁4により真空容器1内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源5により  $13.56\text{ MHz}$

H z の高周波電力を試料電極 6 に対向した誘電体窓 7 の近傍に設けられたコイル 8 に供給することにより、真空容器 1 内に誘導結合型プラズマが発生し、試料電極 6 上に載置された試料としてのシリコン基板 9 に対してプラズマドーピング処理を行うことができる。

【0043】

また、試料電極 6 に高周波電力を供給するための高周波電源 10 が設けられており、試料としての基板がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極 6 の電位を制御することができるようになっている。ターボ分子ポンプ 3 及び排気口 11 は、試料電極 6 の直下に配置されており、また、調圧弁 4 は、試料電極 6 の直下で、かつ、ターボ分子ポンプ 3 の直上に位置する昇降弁である。試料電極 6 は、4 本の支柱 12 により、真空容器 1 に固定されている。なお、誘電体窓 7 の主成分は石英ガラスであるが、不純物としてのボロンを含有させている。

【0044】

基板 9 を試料電極 6 に載置した後、試料電極 6 の温度を 10℃ に保ちつつ、真空容器 1 内にアルゴン (Ar) ガスを 10 s c c m 供給し、真空容器 1 内の圧力を 0.04 Pa に保ちながら、コイル 8 に 800 W、試料電極 6 に 500 W の高周波電力を印加する条件で処理したところ、ボロンが基板 9 の表面近傍に導入されていることが確認できた。

【0045】

このような構成とすることにより、プラズマ中に暴露される高周波電極として、試料台の他に従来例で必要であった固体保持台が不要となった。また、高周波電源は 2 つのみとなり、装置の構成が大幅に簡単になった。また、誘電体窓 7 と基板 9 が対向して配置され、かつ、誘電体窓 7 が基板 9 の中心に対して対称に配置され、かつ、誘電体窓 7 へのイオン衝撃が基板 9 の中心に対して対称に生じるよう構成したため、プラズマへのボロンの供給が基板 9 の中心に対して対称に行われるようになり、試料表面に導入される不純物密度の均一性が大幅に改善された。

【0046】

なお、コイル 8 を平面状とした図 2 のような構成（本発明の第 2 実施形態）も

可能である。この場合、コイル 8 の中央付近における誘電体窓 7 のスパッタリングが促進され、プラズマ中へのボロンの拡散が効率的に行える。

【0047】

また、コイル 8 の代わりにアンテナ 13 及び磁場形成装置としての電磁石 14 を用いた図 3 のような構成（本発明の第 3 実施形態）も可能である。この場合、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することができ、誘導結合型プラズマよりも高密度のプラズマを発生させることができる。電磁石に流れる電流を制御することで、真空容器内に直流磁場または周波数 1 kHz 以下の低周波磁場を印加してもよい。

【0048】

また、コイル 8 の代わりにアンテナ 13 及び磁場形成装置としての電磁石 14 を用いた図 4 のような構成（本発明の第 4 実施形態）も可能である。この場合、2 つの電磁石 14 に逆向きの電流を流すことにより、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することができ、誘導結合型プラズマよりも高密度のプラズマを発生させることができる。電磁石に流れる電流を制御することで、真空容器内に直流磁場または周波数 1 kHz 以下の低周波磁場を印加してもよい。

【0049】

次に、本発明の第 5 実施形態について、図 5 を参照して説明する。

【0050】

図 5 に、本発明の第 5 実施形態において用いたプラズマドーピング装置の断面図を示す。

【0051】

同図において、真空容器 1 内に、ガス供給装置 2 から所定のガスを導入しつつ、排気装置としてのターボ分子ポンプ 3 により排気を行い、調圧弁 4 により真空容器 1 内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源 5 により 13.56 MHz の高周波電力を試料電極 6 に対向した誘電体窓 7 の近傍に設けられたコイル 8 に供給することにより、真空容器 1 内に誘導結合型プラズマが発生し、試料電極 6 上に載置された試料としてのシリコン基板 9 に対してプラズマドーピング処理を行うことができる。

## 【0052】

また、試料電極6に高周波電力を供給するための高周波電源10が設けられており、試料としての基板がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極6の電位を制御することができるようになっている。ターボ分子ポンプ3及び排気口11は、試料電極6の直下に配置されており、また、調圧弁4は、試料電極6の直下で、かつ、ターボ分子ポンプ3の直上に位置する昇降弁である。試料電極6は、4本の支柱12により、真空容器1に固定されている。なお、誘電体窓7の主成分は石英ガラスであるが、不純物としてのボロンを含有させている。

## 【0053】

コイル8の一端をなす給電点15は、コイル8が形成する渦の中心に位置する。コイル8の他端16は、コンデンサ17を介して接地されている。コンデンサの容量は1000pFである。また、コイル8に周波数500kHzの高周波電力を供給するための高周波電源18が設けられており、コイル8の給電点15に接続されている。

## 【0054】

また、周波数13.56MHzの高周波電力の反射波検出回路系に周波数500kHzの高周波電力による変調の影響が及ぶのを防ぐための回路として、バンドパスフィルタ19が設けられている。これは、周波数500kHzの高周波電力の供給によって誘電体窓7の表面のシース厚さが500kHzで変動することによる影響を除去し、周波数13.56MHzの高周波電力の反射波のうち、13.56MHzの成分のみを取り出して検出するためのものである。このような構成において、周波数13.56MHzの高周波電力の反射波を反射波計20でモニタしつつ処理を行うことにより、整合状態や周波数13.56MHzの高周波電源のトラブルをリアルタイムで検知することが可能となる。

## 【0055】

基板9を試料電極6に載置した後、試料電極6の温度を10℃に保ちつつ、真空容器1内にアルゴン(Ar)ガスを10sccm供給し、真空容器1内の圧力を0.04Paに保ちながら、コイル8に周波数13.56MHzの高周波電力を800W、周波数500kHzの高周波電力を400W、試料電極6に500

Wの高周波電力を印加する条件で処理したところ、ボロンが基板9の表面近傍に導入されていることが確認できた。このような構成とすることにより、プラズマ中に暴露される高周波電極として、試料台の他に従来例で必要であった固体保持台が不要となり、装置の構成が簡単になった。また、誘電体窓7と基板9が対向して配置され、かつ、誘電体窓7が基板9の中心に対して対称に配置され、かつ、誘電体窓7へのイオン衝撃が基板9の中心に対して対称に生じるよう構成したため、プラズマへのボロンの供給が基板9の中心に対して対称に行われるようになり、試料表面に導入される不純物密度の均一性が大幅に改善された。

## 【0056】

なお、コイル8を平面状とした構成や、コイル8の代わりにアンテナ及び磁場形成装置としての電磁石を用いてヘリコン波放電を形成できるようにした構成や、コイル8の代わりにアンテナ及び磁場形成装置としての電磁石を用いて磁気中性ループプラズマを形成できるようにした構成も可能であることはいうまでもない。

## 【0057】

以上述べた本発明の第5実施形態においては、コイル8に供給するの高周波電力の周波数 $f_1$ 及び $f_2$ がそれぞれ13.56MHz及び500kHzである場合を例示したが、 $f_2$ は、 $f_1$ の周波数の10分の1以下であることが好ましいと考えられる。本発明の第5実施形態においては、コンデンサ17の容量は1000pFであるから、コンデンサ17のインピーダンスは $f_1$ に対して、

$$1 / (2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 1000 \times 10^{-12}) = 12\Omega$$

となる。一方、 $f_2$ に対しては

$$1 / (2\pi \times 500 \times 10^3 \times 1000 \times 10^{-12}) = 320\Omega$$

となる。コイル8のインダクタンスは $0.8\mu\text{H}$ であったので、コイル8のインピーダンスは $f_1$ に対して、

$$2\pi \times 13.56 \times 10^6 \times 0.8 \times 10^{-6} = 68\Omega$$

となる。一方、 $f_2$ に対しては、

$$2\pi \times 500 \times 10^3 \times 0.8 \times 10^{-6} = 2.5\Omega$$

となる。したがって、コイル8にかかる電圧とコンデンサ17にかかる電圧の比

は、 $f_1$  に対しては、

$$68 \div 12 = 5.7$$

となり、 $f_2$  に対しては

$$2.5 \div 320 = 0.0078$$

となる。したがって、コイル 8 とコンデンサ 17 の直列回路は、 $f_1$  からみればほぼ誘導性（コイル成分）であり、 $f_2$  からみればほぼ容量性（コンデンサ成分）であることがわかる。つまり、周波数  $f_1$  の高周波電力によって誘導結合型プラズマを発生させながら、周波数  $f_2$  の高周波電力によってコイル 8 とプラズマとを容量的に結合させ、誘電体窓 7 の表面に自己バイアス電圧に起因するイオン衝撃を与えることができる。したがって、本実施形態では、周波数  $f_1$  の高周波電力の大きさによってプラズマ密度を制御し、これとは独立に周波数  $f_2$  の高周波電力の大きさによってイオン衝撃を制御できるという利点がある。このような関係は、概ね  $f_2$  が、 $f_1$  の 10 分の 1 以下である場合に成り立つと考えられる。 $f_2$  が、 $f_1$  の周波数の 10 分の 1 より大きいと、コイル 8 とコンデンサ 17 にかかる電圧の比において、 $f_1$  と  $f_2$  の差が小さすぎ、意図する効果を期待し難い。

#### 【0058】

また、 $f_1$  に対するコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの 2 倍以上、 $f_2$  に対するコイルのインピーダンスがコンデンサのインピーダンスの 5 分の 1 以下であると、コイル 8 とコンデンサ 17 にかかる電圧の比において、 $f_1$  と  $f_2$  の差が十分得られ、効果的であると考えられる。この条件が満たされないと、コイル 8 とコンデンサ 17 にかかる電圧の比において、 $f_1$  と  $f_2$  の差が小さすぎ、意図する効果を期待し難い。なお、多重の渦形コイルを用いる場合においては、ひとつひとつのコイルとコンデンサのペアについて、そのインピーダンスを考えればよい。

#### 【0059】

また、 $f_1$  に対するコンデンサのインピーダンスが  $25\ \Omega$  以下、 $f_2$  に対するコンデンサのインピーダンスが  $250\ \Omega$  以上であると、コイル 8 とコンデンサ 17 にかかる電圧の比において、 $f_1$  と  $f_2$  の差が十分得られ、効果的であると考

えられる。この条件が満たされないと、コイル 8 とコンデンサ 1 7 にかかる電圧の比において、 $f_1$  と  $f_2$  の差が小さすぎ、意図する効果を期待し難い。なお、多重の渦形コイルを用いる場合においては、ひとつひとつのコイルとコンデンサのペアについて、そのインピーダンスを考えればよい。

【0 0 6 0】

また、 $f_1$  に対するコイルのインピーダンスが  $50\ \Omega$  以上、 $f_2$  に対するコイルのインピーダンスが  $5\ \Omega$  以下であると、コイル 8 とコンデンサ 1 7 にかかる電圧の比において、 $f_1$  と  $f_2$  の差が十分得られ、効果的であると考えられる。この条件が満たされないと、コイル 8 とコンデンサ 1 7 にかかる電圧の比において、 $f_1$  と  $f_2$  の差が小さすぎ、意図する効果を期待し難い。なお、多重の渦形コイルを用いる場合においては、ひとつひとつのコイルとコンデンサのペアについて、そのインピーダンスを考えればよい。

【0 0 6 1】

また、以上述べた本発明の実施形態においては、誘電体窓の主成分が石英ガラスである場合について例示したが、誘電体窓の主成分はシリコンであってもよく、また、窒化シリコンであってもよい。誘電体窓の主成分としてこのような物質を用いることにより、不要な不純物を試料中にドーピングするおそれを回避することができる。

【0 0 6 2】

次に、本発明の第 6 実施形態について、図 6 を参照して説明する。

【0 0 6 3】

図 6 に、本発明の第 6 実施形態において用いたプラズマドーピング装置の断面図を示す。図 6 において、真空容器 1 内に、ガス供給装置 2 から所定のガスを導入しつつ、排気装置としてのターボ分子ポンプ 3 により排気を行い、調圧弁 4 により真空容器 1 内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源 5 により 13.56 MHz の高周波電力を試料電極 6 に対向した誘電体窓 7 の近傍に設けられたコイル 8 に供給することにより、真空容器 1 内に誘導結合型プラズマが発生し、試料電極 6 上に載置された試料としてのシリコン基板 9 に対してプラズマドーピング処理を行うことができる。



## 【0064】

また、試料電極6に高周波電力を供給するための高周波電源10が設けられており、試料としての基板がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極6の電位を制御することができるようになっている。ターボ分子ポンプ3及び排気口11は、試料電極6の直下に配置されており、また、調圧弁4は、試料電極6の直下で、かつ、ターボ分子ポンプ3の直上に位置する昇降弁である。試料電極6は、4本の支柱12により、真空容器1に固定されている。なお、誘電体窓7の内壁面には、不純物としてのボロンを含む物質21を付着させている。

## 【0065】

基板9を試料電極6に載置した後、試料電極6の温度を10℃に保ちつつ、真空容器1内にアルゴン(Ar)ガスを10sccm供給し、真空容器1内の圧力を0.04Paに保ちながら、コイル8に800W、試料電極6に500Wの高周波電力を印加する条件で処理したところ、ボロンが基板9の表面近傍に導入されていることが確認できた。このような構成とすることにより、プラズマ中に暴露される高周波電極として、試料台の他に従来例で必要であった固体保持台が不要となった。また、高周波電源は2つのみとなり、装置の構成が大幅に簡単になった。また、誘電体窓7と基板9が対向して配置され、かつ、誘電体窓7が基板9の中心に対して対称に配置され、かつ、誘電体窓7へのイオン衝撃が基板9の中心に対して対称に生じるよう構成したため、プラズマへのボロンの供給が基板9の中心に対して対称に行われるようになり、試料表面に導入される不純物密度の均一性が大幅に改善された。

## 【0066】

なお、コイル8を平面状とした構成や、コイル8の代わりにアンテナ及び磁場形成装置としての電磁石を用いてヘリコン波放電を形成できるようにした構成や、コイル8の代わりにアンテナ及び磁場形成装置としての電磁石を用いて磁気中性ループプラズマを形成できるようにした構成も可能であることはいうまでもない。

## 【0067】

次に、本発明の第7実施形態について、図7を参照して説明する。

## 【0068】

図7に、本発明の第7実施形態において用いたプラズマドーピング装置の断面図を示す。図7において、真空容器1内に、ガス供給装置2から所定のガスを導入しつつ、排気装置としてのターボ分子ポンプ3により排気を行い、調圧弁4により真空容器1内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源5により13.56MHzの高周波電力を試料電極6に対向した誘電体窓7の近傍に設けられたコイル8に供給することにより、真空容器1内に誘導結合型プラズマが発生し、試料電極6上に載置された試料としてのシリコン基板9に対してプラズマドーピング処理を行うことができる。

## 【0069】

また、試料電極6に高周波電力を供給するための高周波電源10が設けられており、試料としての基板がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極6の電位を制御することができるようになっている。ターボ分子ポンプ3及び排気口11は、試料電極6の直下に配置されており、また、調圧弁4は、試料電極6の直下で、かつ、ターボ分子ポンプ3の直上に位置する昇降弁である。試料電極6は、4本の支柱12により、真空容器1に固定されている。なお、誘電体窓7の内壁面には、不純物としてのボロンを含む物質21を付着させている。

## 【0070】

コイル8の一端をなす給電点15は、コイル8が形成する渦の中心に位置する。コイル8の他端16は、コンデンサ17を介して接地されている。コンデンサの容量は1000pFである。また、コイル8に周波数500kHzの高周波電力を供給するための高周波電源18が設けられており、コイル8の給電点15に接続されている。

## 【0071】

また、周波数13.56MHzの高周波電力の反射波検出回路系に周波数500kHzの高周波電力による変調の影響が及ぶのを防ぐための回路として、バンドパスフィルタ19が設けられている。これは、周波数500kHzの高周波電力の供給によって誘電体窓7の表面のシース厚さが500kHzで変動することによる影響を除去し、周波数13.56MHzの高周波電力の反射波のうち、1

3. 5 6 M H z の成分のみを取り出して検出するためのものである。このような構成において、周波数 1 3. 5 6 M H z の高周波電力の反射波を反射波計 2 0 でモニタしつつ処理を行うことにより、整合状態や周波数 1 3. 5 6 M H z の高周波電源のトラブルをリアルタイムで検知することが可能となる。

## 【 0 0 7 2 】

基板 9 を試料電極 6 に載置した後、試料電極 6 の温度を 1 0 ° C に保ちつつ、真空容器 1 内にアルゴン ( A r ) ガスを 1 0 s c c m 供給し、真空容器 1 内の圧力を 0. 0 4 P a に保ちながら、コイル 8 に周波数 1 3. 5 6 M H z の高周波電力を 8 0 0 W、周波数 5 0 0 k H z の高周波電力を 4 0 0 W、試料電極 6 に 5 0 0 W の高周波電力を印加する条件で処理したところ、ボロンが基板 9 の表面近傍に導入されていることが確認できた。このような構成とすることにより、プラズマ中に暴露される高周波電極として、試料台の他に従来例で必要であった固体保持台が不要となり、装置の構成が簡単になった。また、誘電体窓 7 と基板 9 が対向して配置され、かつ、誘電体窓 7 が基板 9 の中心に対して対称に配置され、かつ、誘電体窓 7 へのイオン衝撃が基板 9 の中心に対して対称に生じるよう構成したため、プラズマへのボロンの供給が基板 9 の中心に対して対称に行われるようになり、試料表面に導入される不純物密度の均一性が大幅に改善された。

## 【 0 0 7 3 】

なお、コイル 8 を平面状とした構成や、コイル 8 の代わりにアンテナ及び磁場形成装置としての電磁石を用いてヘリコン波放電を形成できるようにした構成や、コイル 8 の代わりにアンテナ及び磁場形成装置としての電磁石を用いて磁気中性ループプラズマを形成できるようにした構成も可能であることはいうまでもない。

## 【 0 0 7 4 】

また、コイルまたはアンテナに供給する高周波電力の周波数や、コイルまたはアンテナのインピーダンス、コンデンサのインピーダンスにおいて好ましい関係については、本発明の第 5 実施形態で説明した事情と同様であるので、ここでは説明を省略する。

## 【 0 0 7 5 】

次に、本発明の第8実施形態について、図8を参照して説明する。

【0076】

図8に、本発明の第8実施形態において用いたプラズマドーピング装置の断面図を示す。図8において、真空容器1内に、ガス供給装置2から所定のガスを導入しつつ、排気装置としてのターボ分子ポンプ3により排気を行い、調圧弁4により真空容器1内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源5により13.56MHzの高周波電力を試料電極6に対向した誘電体窓7の近傍に設けられたコイル8に供給することにより、真空容器1内に誘導結合型プラズマが発生し、試料電極6上に載置された試料としてのシリコン基板9に対してプラズマドーピング処理を行うことができる。

【0077】

また、試料電極6に高周波電力を供給するための高周波電源10が設けられており、試料としての基板がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極6の電位を制御することができるようになっている。ターボ分子ポンプ3及び排気口11は、試料電極6の直下に配置されており、また、調圧弁4は、試料電極6の直下で、かつ、ターボ分子ポンプ3の直上に位置する昇降弁である。試料電極6は、4本の支柱12により、真空容器1に固定されている。なお、誘電体窓7の主成分は石英ガラスであるが、不純物としてのボロンを含有させている。

【0078】

コイル8と誘電体窓7の間に配置したバイアス電極22に周波数500kHzの高周波電力を供給するための高周波電源23が設けられている。バイアス電極22はスポーク状（短冊形の電極が放射状に配置されたもの）であり、コイル8の巻き方向とほぼ垂直な線方向に配置されているため、コイル8からの高周波電磁界が真空容器1内に放射されるのをほとんど妨げないように工夫されている。一方で、バイアス電極22は誘電体窓7のほぼ全域を覆っており、不純物としてのボロンのプラズマ中への拡散量を制御することができる。

【0079】

また、周波数13.56MHzの高周波電力の反射波検出回路系に周波数500kHzの高周波電力による変調の影響が及ぶを防ぐための回路として、パン

ドパスフィルタ 1 9 が設けられている。これは、周波数 5 0 0 k H z の高周波電力の供給によって誘電体窓 7 の表面のシース厚さが 5 0 0 k H z で変動することによる影響を除去し、周波数 1 3 . 5 6 M H z の高周波電力の反射波のうち、1 3 . 5 6 M H z の成分のみを取り出して検出するためのものである。このような構成において、周波数 1 3 . 5 6 M H z の高周波電力の反射波を反射波計 2 0 でモニタしつつ処理を行うことにより、整合状態や周波数 1 3 . 5 6 M H z の高周波電源のトラブルをリアルタイムで検知することが可能となる。

【 0 0 8 0 】

基板 9 を試料電極 6 に載置した後、試料電極 6 の温度を 1 0 ℃に保ちつつ、真空容器 1 内にアルゴン ( A r ) ガスを 1 0 s c c m 供給し、真空容器 1 内の圧力を 0 . 0 4 P a に保ちながら、コイル 8 に 8 0 0 W 、バイアス電極に 4 0 0 W 、試料電極 6 に 5 0 0 W の高周波電力を印加する条件で処理したところ、ボロンが基板 9 の表面近傍に導入されていることが確認できた。このような構成とすることにより、プラズマ中に暴露される高周波電極として、試料台の他に従来例で必要であった固体保持台が不要となった。また、プラズマへのボロンの供給が基板の中心に対して対称に行われるようになったため、試料表面に導入される不純物密度の均一性が大幅に改善された。

【 0 0 8 1 】

本実施形態においては、コイル 8 に供給する周波数  $f_3$  ( 1 3 . 5 6 M H z ) の高周波電力によって誘導結合型プラズマを発生させながら、バイアス電極 2 2 に供給する周波数  $f_4$  ( 5 0 0 k H z ) の高周波電力によってコイル 8 とプラズマとを容量的に結合させ、誘電体窓 7 の表面に自己バイアス電圧に起因するイオン衝撃を与えることができる。したがって、本実施形態では、周波数  $f_3$  の高周波電力の大きさによってプラズマ密度を制御し、これとは独立に周波数  $f_4$  の高周波電力の大きさによってイオン衝撃を制御できるという利点がある。

【 0 0 8 2 】

本実施形態においては、誘電体窓の主成分が石英ガラスである場合について例示したが、誘電体窓の主成分はシリコンであってもよく、また、窒化シリコンであってもよい。誘電体窓の主成分としてこのような物質を用いることにより、不

要な不純物を試料中にドーピングするおそれを回避することができる。

【0083】

なお、コイル8を平面状とした図9のような構成（本発明の第9実施形態）も可能である。

【0084】

また、コイル8の代わりにアンテナ13及び磁場形成装置としての電磁石14を用いた図10のような構成（本発明の第10実施形態）も可能である。この場合、真空容器内にヘリコン波プラズマを形成することができ、誘導結合型プラズマよりも高密度のプラズマを発生させることができる。電磁石に流れる電流を制御することで、真空容器内に直流磁場または周波数1kHz以下の低周波磁場を印加してもよい。

【0085】

また、コイル8の代わりにアンテナ13及び磁場形成装置としての電磁石14を用いた図11のような構成（本発明の第11実施形態）も可能である。この場合、2つの電磁石14に逆向きの電流を流すことにより、真空容器内に磁気中性ループプラズマを形成することができ、誘導結合型プラズマよりも高密度のプラズマを発生させることができる。電磁石に流れる電流を制御することで、真空容器内に直流磁場または周波数1kHz以下の低周波磁場を印加してもよい。

【0086】

また、コイル8の代わりに、マイクロ波放射アンテナ24及び磁場形成装置としての電磁石14を用いた図12のような構成（本発明の第12実施形態）も可能である。マイクロ波は、マグネトロン発振器25よりアンテナ22に供給される。この場合、真空容器内に電子サイクロトロン共鳴プラズマを形成することができ、誘導結合型プラズマよりも高密度のプラズマを発生させることができる。電磁石に流れる電流を制御することで、真空容器内に直流磁場または周波数1kHz以下の低周波磁場を印加してもよい。

【0087】

次に、本発明の第13実施形態について、図13を参照して説明する。

【0088】

図13に、本発明の第13実施形態において用いたプラズマドーピング装置の断面図を示す。図13において、真空容器1内に、ガス供給装置2から所定のガスを導入しつつ、排気装置としてのターボ分子ポンプ3により排気を行い、調圧弁4により真空容器1内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源5により13.56MHzの高周波電力を試料電極6に対向した誘電体窓7の近傍に設けられたコイル8に供給することにより、真空容器1内に誘導結合型プラズマが発生し、試料電極6上に載置された試料としてのシリコン基板9に対してプラズマドーピング処理を行うことができる。また、試料電極6に高周波電力を供給するための高周波電源10が設けられており、試料としての基板がプラズマに対して負の電位をもつように、試料電極6の電位を制御することができるようになっている。ターボ分子ポンプ3及び排気口11は、試料電極6の直下に配置されており、また、調圧弁4は、試料電極6の直下で、かつ、ターボ分子ポンプ3の直上に位置する昇降弁である。試料電極6は、4本の支柱12により、真空容器1に固定されている。なお、誘電体窓7の内壁面には、不純物としてのボロンを含む物質21を付着させている。

## 【0089】

コイル8と誘電体窓7の間に配置したバイアス電極22に周波数500kHzの高周波電力を供給するための高周波電源23が設けられている。バイアス電極22はスポーク状（短冊形の電極が放射状に配置されたもの）であり、コイル8の巻き方向とほぼ垂直な線方向に配置されているため、コイル8からの高周波電磁界が真空容器1内に放射されるのをほとんど妨げないように工夫されている。一方で、バイアス電極22は誘電体窓7のほぼ全域を覆っており、不純物としてのボロンのプラズマ中への拡散量を制御することができる。

## 【0090】

また、周波数13.56MHzの高周波電力の反射波検出回路系に周波数500kHzの高周波電力による変調の影響が及ぶのを防ぐための回路として、バンドパスフィルタ19が設けられている。これは、周波数500kHzの高周波電力の供給によって誘電体窓7の表面のシース厚さが500kHzで変動することによる影響を除去し、周波数13.56MHzの高周波電力の反射波のうち、1

3. 56MHzの成分のみを取り出して検出するためのものである。このような構成において、周波数13.56MHzの高周波電力の反射波を反射波計20でモニタしつつ処理を行うことにより、整合状態や周波数13.56MHzの高周波電源のトラブルをリアルタイムで検知することが可能となる。

【0091】

基板9を試料電極6に載置した後、試料電極6の温度を10℃に保ちつつ、真空容器1内にアルゴン(Ar)ガスを10sccm供給し、真空容器1内の圧力を0.04Paに保ちながら、コイル8に800W、試料電極6に500Wの高周波電力を印加する条件で処理したところ、ボロンが基板9の表面近傍に導入されていることが確認できた。このような構成とすることにより、プラズマ中に暴露される高周波電極として、試料台の他に従来例で必要であった固体保持台が不要となった。また、プラズマへのボロンの供給が基板の中心に対して対称に行われるようになったため、試料表面に導入される不純物密度の均一性が大幅に改善された。

【0092】

本実施形態においては、コイル8に供給する周波数 $f_3$ (13.56MHz)の高周波電力によって誘導結合型プラズマを発生させながら、バイアス電極22に供給する周波数 $f_4$ (500kHz)の高周波電力によってコイル8とプラズマとを容量的に結合させ、誘電体窓7の表面に自己バイアス電圧に起因するイオン衝撃を与えることができる。したがって、本実施形態では、周波数 $f_3$ の高周波電力の大きさによってプラズマ密度を制御し、これとは独立に周波数 $f_4$ の高周波電力の大きさによってイオン衝撃を制御できるという利点がある。

【0093】

なお、コイル8を平面状とした構成や、コイル8の代わりにアンテナ及び磁場形成装置としての電磁石を用いてヘリコン波放電を形成できるようにした構成や、コイル8の代わりにアンテナ及び磁場形成装置としての電磁石を用いて磁気中性ループプラズマを形成できるようにした構成や、コイル8の代わりに、マイクロ波放射アンテナ及び磁場形成装置としての電磁石を用いて電子サイクロトロン共鳴プラズマを形成することができるようにした構成も可能であることはいま



でもない。

【0094】

以上述べた本発明の実施形態においては、本発明の適用範囲のうち、真空容器の形状、プラズマ源の方式及び配置等に関して様々なバリエーションのうちの一部を例示したに過ぎない。本発明の適用にあたり、ここで例示した以外にも様々なバリエーションが考えられることは、言うまでもない。

【0095】

また、試料がシリコンよりなる半導体基板である場合を例示したが、他の様々な材質の試料を処理するに際して、本発明を適用することができる。

【0096】

また、不純物がボロンである場合について例示したが、試料がシリコンよりなる半導体基板である場合、とくに不純物が砒素、燐、ボロン、アルミニウムまたはアンチモンである場合に本発明は有効である。これは、トランジスタ部分に浅い接合を形成することができるからである。

【0097】

また、ガスがアルゴンである場合を例示したが、ガスとして窒素、ヘリウムまたはアルゴンを含むガスを用いることができる。

【0098】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本願の第1発明のプラズマドーピング方法によれば、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させ、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入するため、構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング方法を提供することができる。

【0099】

また、本願の第2発明のプラズマドーピング方法によれば、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不

純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させ、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入するため、構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング方法を提供することができる。

## 【0100】

また、本願の第3発明のプラズマドーピング方法によれば、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させるとともに、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入するため、構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング方法を提供することができる。

## 【0101】

また、本願の第4発明のプラズマドーピング方法によれば、真空容器内にガスを供給しつつ真空容器内を排気し、真空容器内を所定の圧力に制御しながら、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内にプラズマを発生させるとともに、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給することにより、真空容器内の試料電極に載置した試料または試料表面の膜中に不純物を導入するため、構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング方法を提供することができる。

## 【0102】

また、本願の第5発明のプラズマドーピング装置によれば、真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試

料を載置するための試料電極と、不純物を含む誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することができる高周波電源とを備えたため、構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング装置を提供することができる。

## 【 0 1 0 3 】

また、本願の第 6 発明のプラズマドーピング装置によれば、真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_1$  の高周波電力を供給することができる高周波電源とを備えたため、構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング装置を提供することができる。

## 【 0 1 0 4 】

また、本願の第 7 発明のプラズマドーピング装置によれば、真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試料を載置するための試料電極と、不純物を含む誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することができる高周波電源と、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極と、バイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給することができる高周波電源を備えたため、構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング装置を提供することができる。

## 【 0 1 0 5 】

また、本願の第 8 発明のプラズマドーピング装置によれば、真空容器と、真空容器内にガスを供給するためのガス供給装置と、真空容器内を排気するための排気装置と、真空容器内を所定の圧力に制御するための調圧弁と、真空容器内に試

料を載置するための試料電極と、不純物を含む物質を内壁面に付着させた誘電体窓と、誘電体窓の近傍に配置したコイルまたはアンテナと、コイルまたはアンテナに周波数  $f_3$  の高周波電力を供給することができる高周波電源と、コイルまたはアンテナと誘電体窓の間に配置したバイアス電極と、バイアス電極に周波数  $f_4$  の高周波電力を供給することができる高周波電源を備えたため、構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 2】

本発明の第 2 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 3】

本発明の第 3 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 4】

本発明の第 4 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 5】

本発明の第 5 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 6】

本発明の第 6 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 7】

本発明の第 7 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 8】

本発明の第 8 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 9】

本発明の第 9 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 10】

本発明の第 10 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図

【図 11】

本発明の第 1 1 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図  
【図 1 2】

本発明の第 1 2 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図  
【図 1 3】

本発明の第 1 3 実施形態で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図  
【図 1 4】

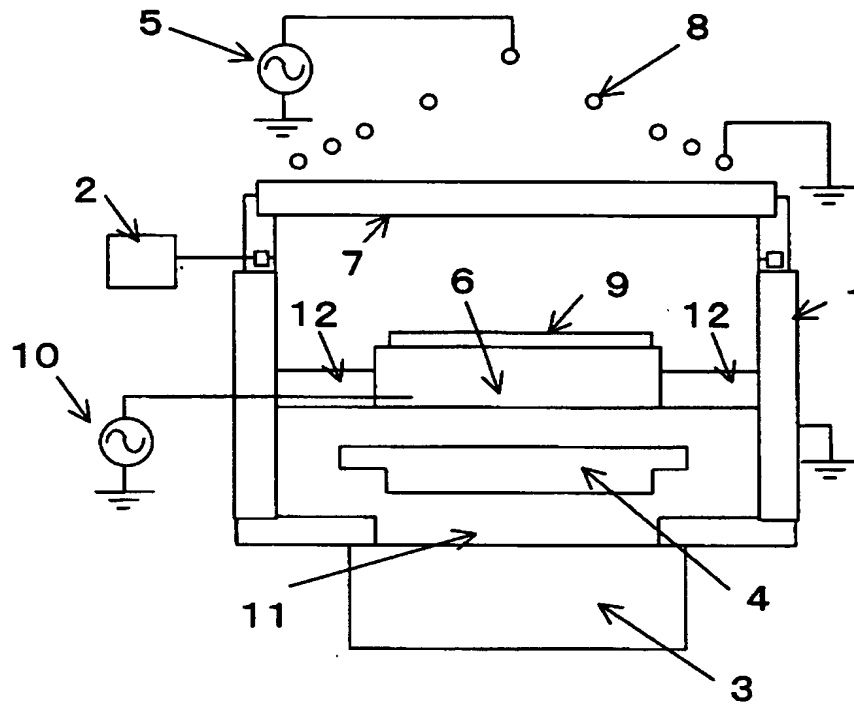
従来例で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図  
【図 1 5】

従来例で用いたプラズマドーピング装置の構成を示す断面図  
【符号の説明】

- 1 真空容器
- 2 ガス供給装置
- 3 ターボ分子ポンプ
- 4 調圧弁
- 5 高周波電源
- 6 試料電極
- 7 誘電体窓
- 8 コイル
- 9 基板
- 1 0 高周波電源
- 1 1 排気口
- 1 2 支柱

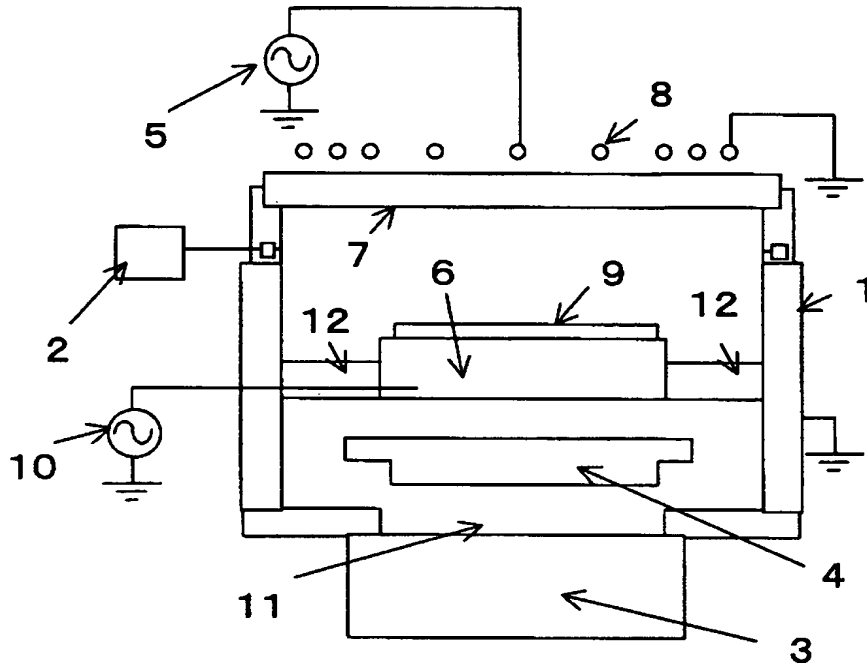
【書類名】 図面

【図 1】

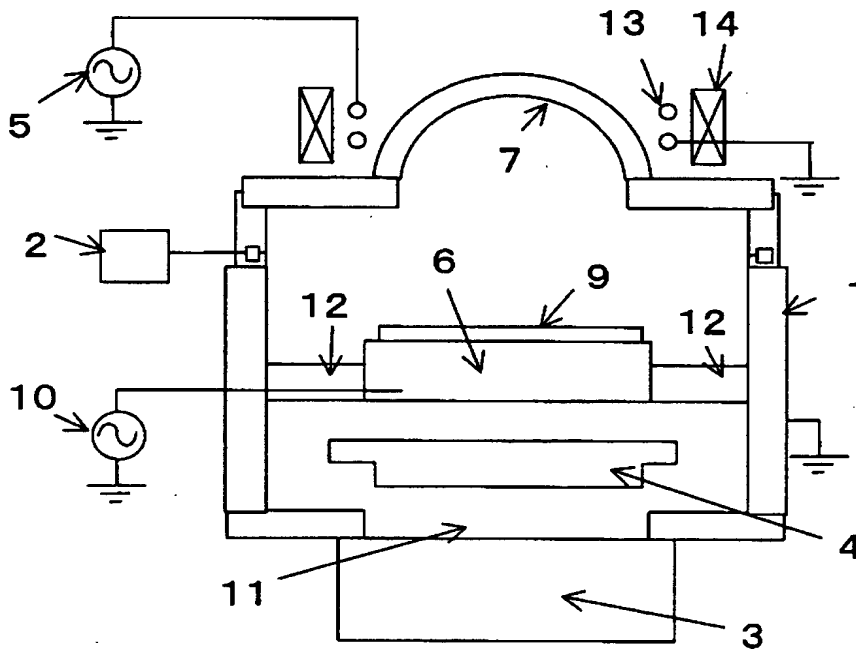


- |            |          |
|------------|----------|
| 1 真空容器     | 7 誘電体窓   |
| 2 ガス供給装置   | 8 コイル    |
| 3 ターボ分子ポンプ | 9 基板     |
| 4 調圧弁      | 10 高周波電源 |
| 5 高周波電源    | 11 排気口   |
| 6 試料電極     | 12 支柱    |

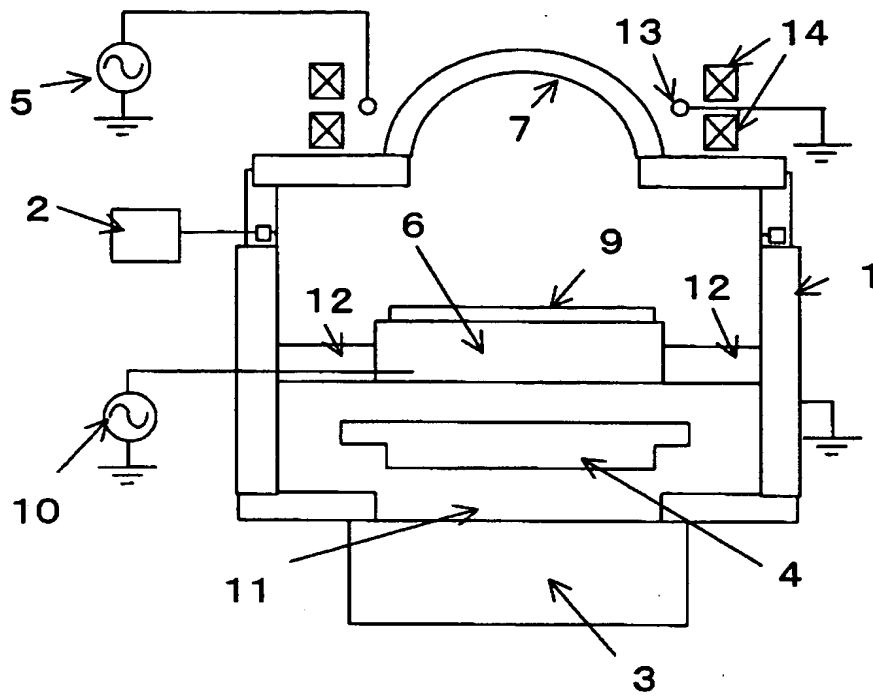
【図 2】



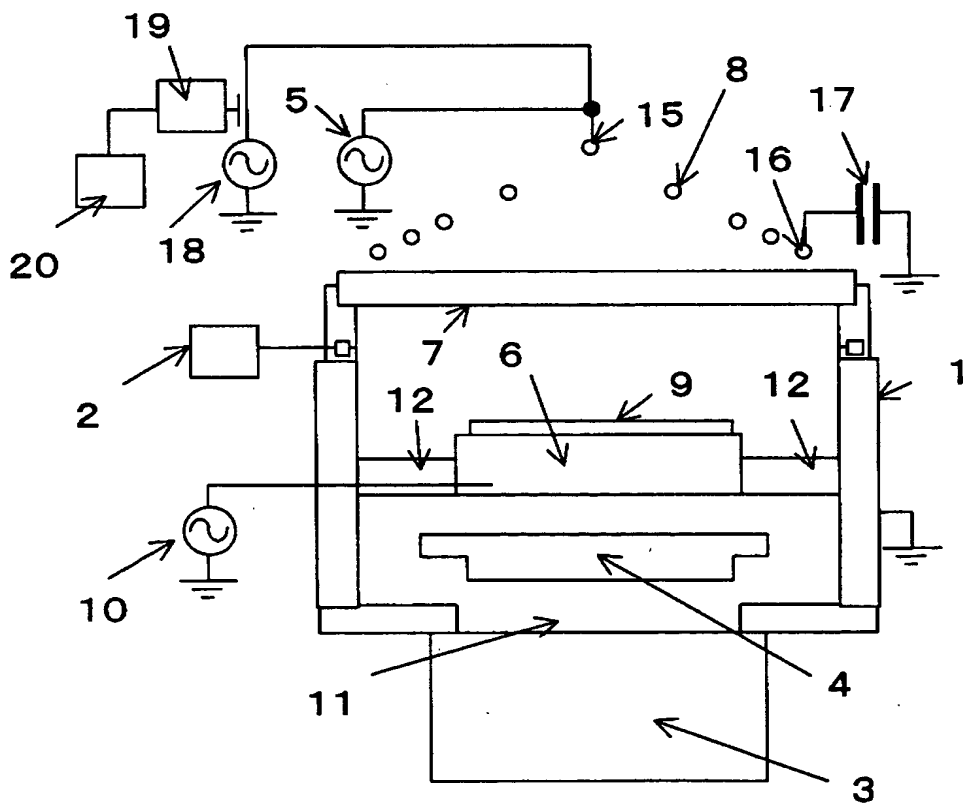
【図 3】



【図4】

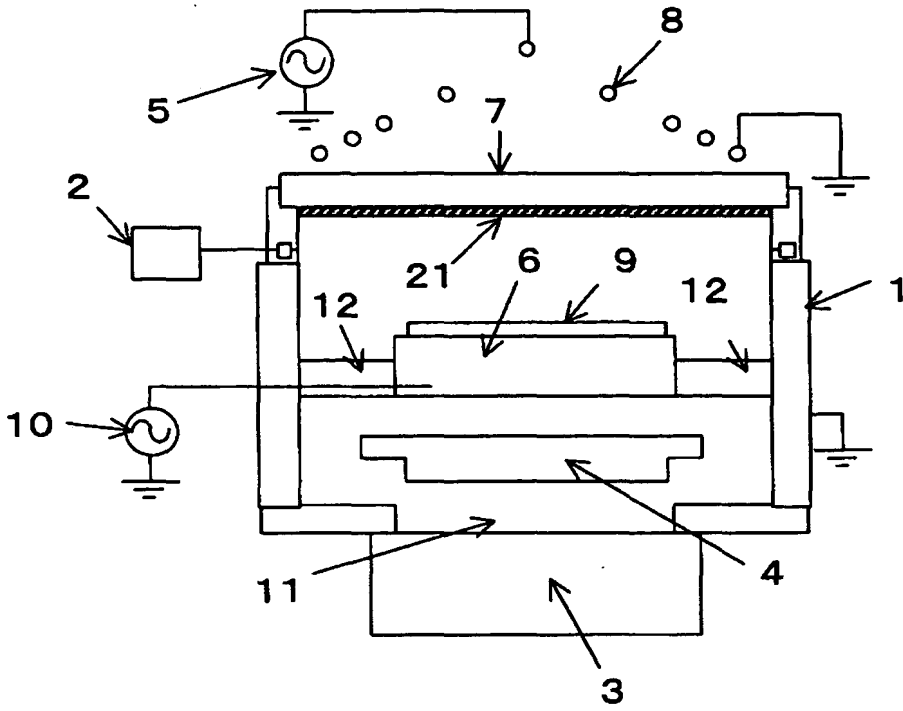


【図5】

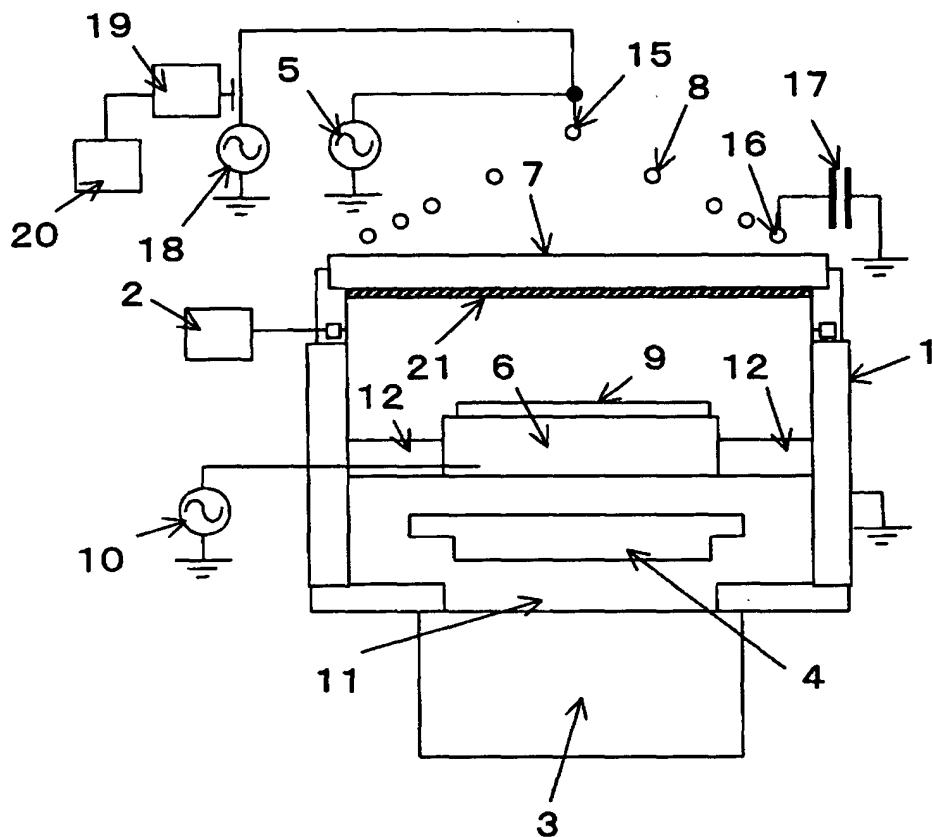




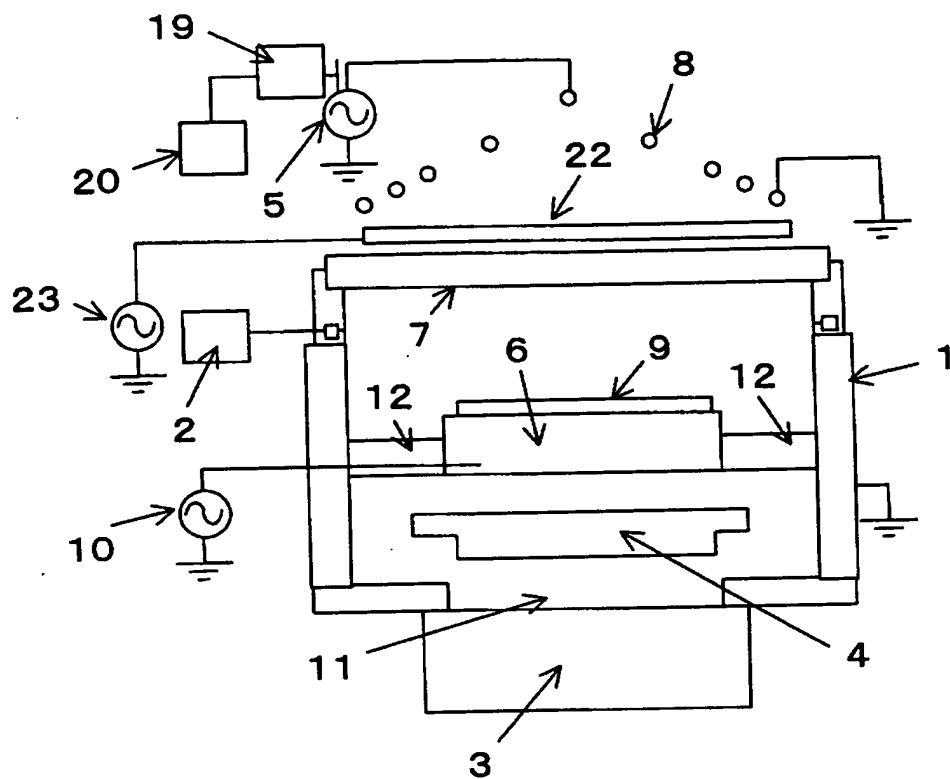
【図 6】



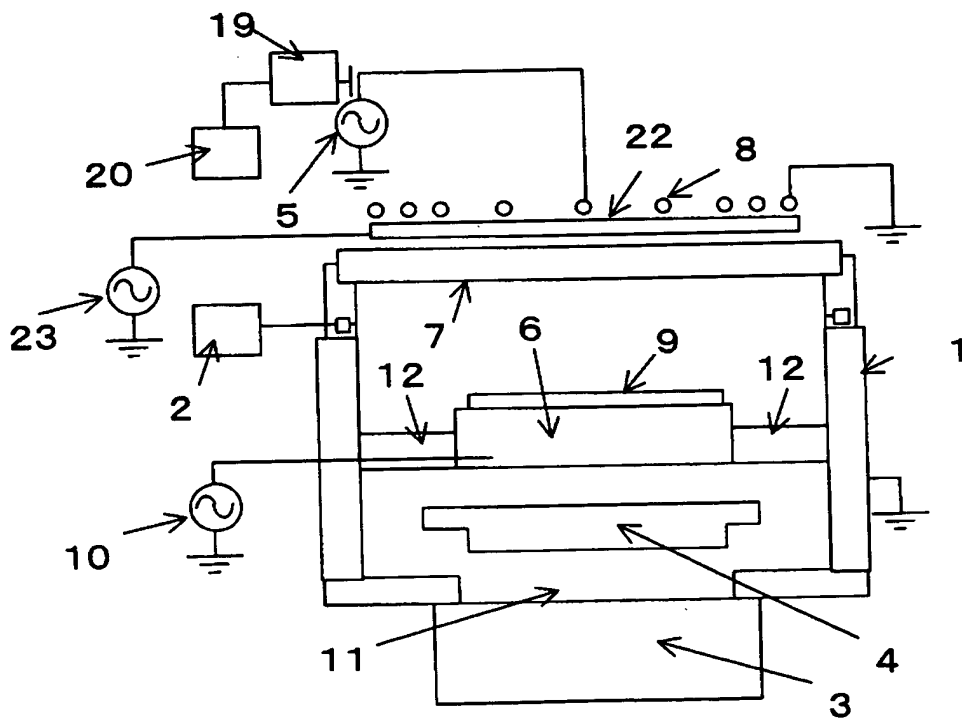
【図7】



【図 8】

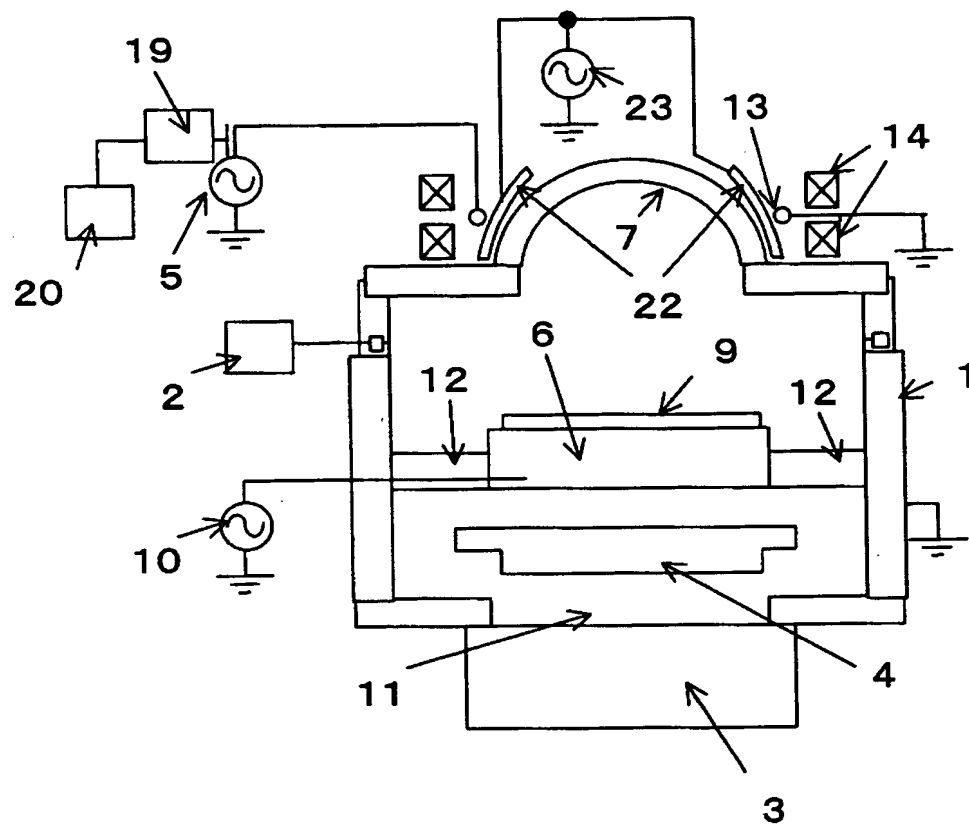


【図 9】

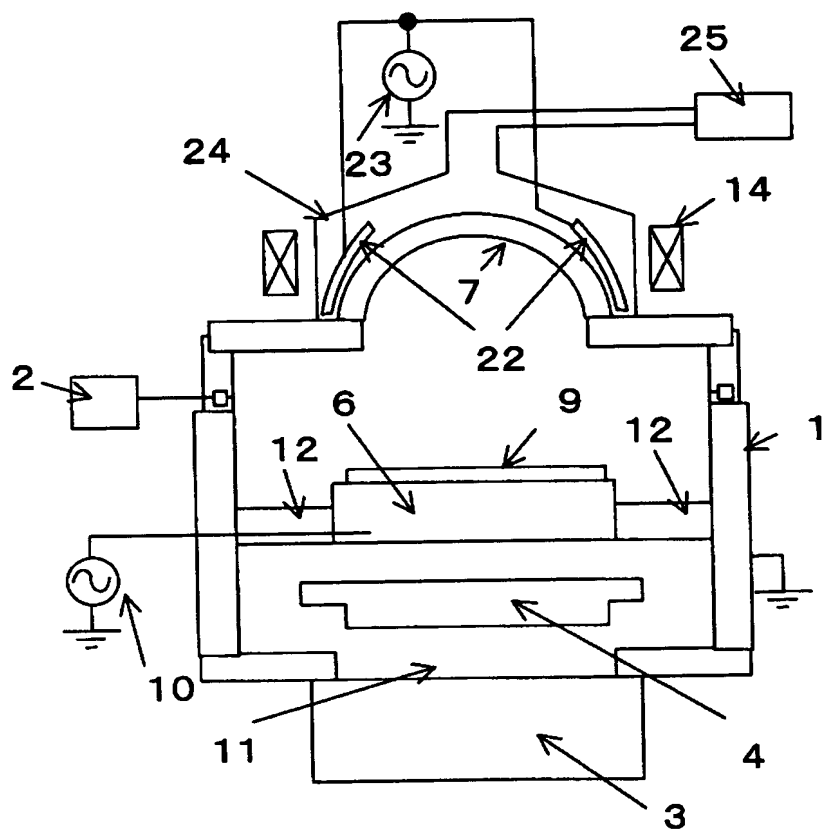




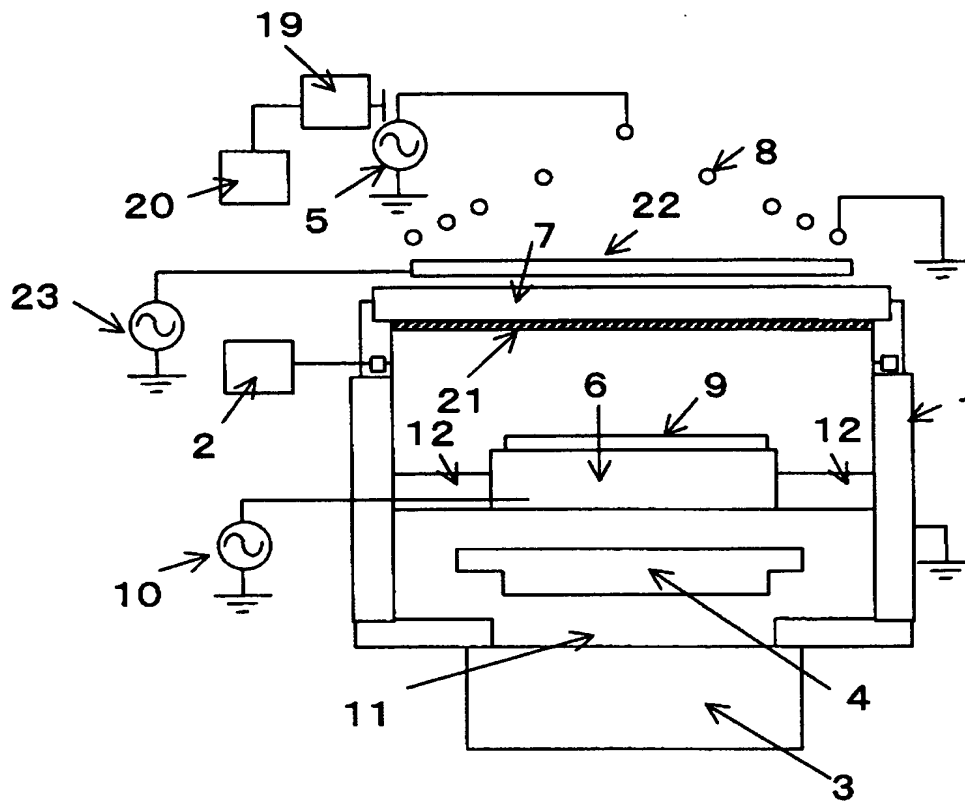
【図 11】



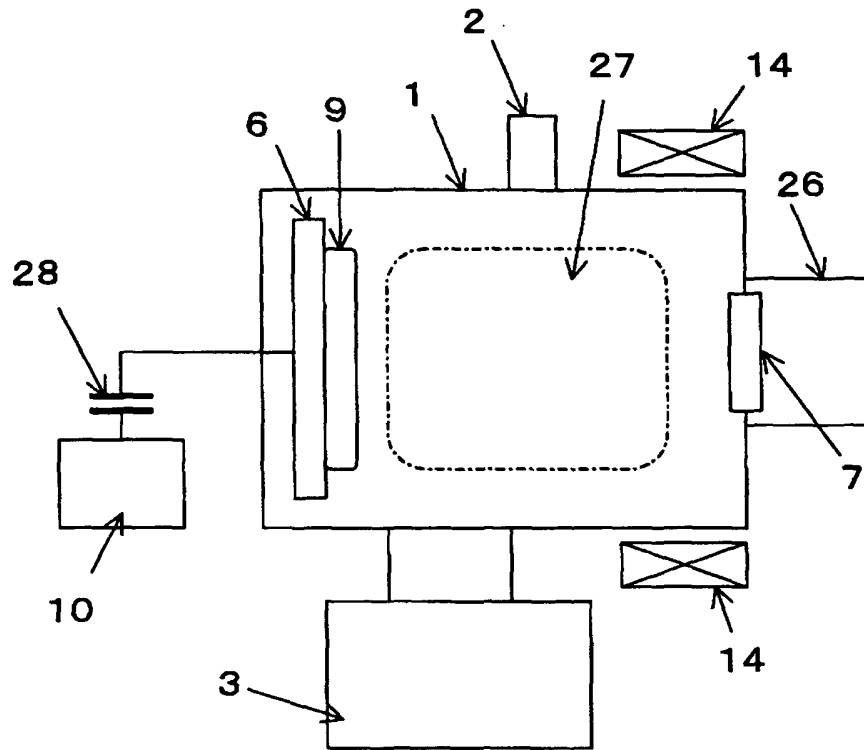
【図12】



【図13】

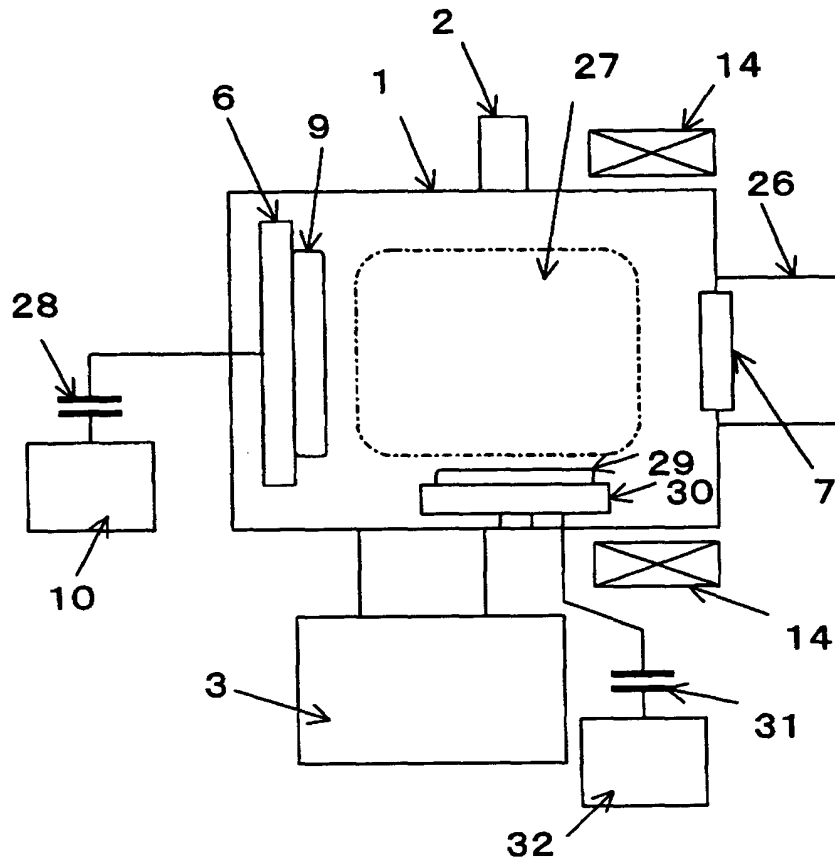


【図14】





【図15】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 構成が簡単で、かつ、試料表面に導入される不純物密度の均一性に優れたプラズマドーピング方法及び装置を提供する。

【解決手段】 真空容器 1 内にガス供給装置 2 より所定のガスを導入しつつポンプ 3 で排気を行い、真空容器 1 内を所定の圧力に保ちながら、高周波電源 5 により高周波電力を、コイル 8 に印加すると、真空容器 1 内にプラズマが発生し、試料電極 6 上に載置された基板 9 に対してプラズマドーピングを行うことができる。このとき、誘電体窓 7 に不純物としてのボロンを含有させておくことで、基板 9 表面に均一に不純物が導入される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日	1990年 8月28日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府門真市大字門真1006番地
氏 名	松下電器産業株式会社